

乡村地域生态服务功能演化测度 ——以南京市为例

刘崇刚^{1,2}, 孙伟¹, 曹玉红², 陈晨²

(1. 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 中国科学院流域地理学重点实验室, 南京 210008;

2. 安徽师范大学环境科学与工程学院, 芜湖 241000)

摘要: 乡村在社会发展中有重要的腹地价值, 乡村地域空间结构的演化对生态服务功能有重要的影响。以南京市为例, 在乡村实体地域范围基础上进行乡村地域生态服务功能演化测度研究, 利用遥感定量测量和CASA模型测算分析南京市1985—2016年乡村地域生态服务功能演化。研究表明: (1) 1985—2000年, 乡村各种生态服务功能价值都存在降低的趋势; 2000—2016年, 除水源涵养功能外, 其他各种类型生态服务功能价值仍存在降低的趋势。(2) 第一阶段乡村生态服务功能损失较大的地区主要集中在南部、南偏西和南偏东方向; 第二阶段, 生态服务功能价值在北部和北偏西方向有了提升, 其他方向均有不同程度减少。(3) 乡镇工业化阶段, 生态服务功能受乡村内部土地利用变化影响较大; 在城市化水平快速提升阶段, 城市扩展对乡村生态服务功能的影响更大。

关键词: 乡村实体地域; 生态服务功能; CASA模型; 南京市

长期以来, 生态系统已经形成了维持人类生存的自然条件和功能, 被称为生态服务功能。主要包含供给、调节、文化和支持功能^[1,2], 具有重要的生态服务功能价值(Ecosystem Services Value, ESV), 为人类提供直接或间接的利益^[3,4]。乡村生态系统源于“生态系统”的概念, 是一种由自然主导的自然和半人工生态系统, 由人类、资源和农村地区的各种环境因素形成的自然、经济和社会生态网络综合体^[5,6]。乡村利用农田、水系、林地等自然和人工条件创造并体现出景观、传统文化、维护生态环境、保护生物多样性、娱乐和教育等方面的价值^[7,8]。从新型城镇化视角下的乡村规划来看, 乡村所固有的农业、腹地和家园价值对于协调城乡发展来说具有重大而广泛的社会意义^[9]。改革开放以来社会主义市场经济的迅速发展, 城市经济发展水平不断提升, 同时使得城区规模逐渐扩张, 侵占了大量乡村地域。再加上乡村土地利用结构混乱和资源环境问题出现, 对乡村生态环境和可持续发展造成很大影响, 尤其是经济发展对生态系统供给服务的过度需求和对调节服务的破坏使乡村生态系统遭受严重破坏^[10,11], 乡村生态服务功能也随之受损, 不利于乡村的可持续发展。近些年国家渐渐重视乡村的回归, 提出优先发展农村农业、经济和生态, 这就需要在注重乡村经济发展的同时更要保障生态服务功能的提升。从生态的角度看, 乡村地域的各类自然景观的功能价值已远远超出传统经济的范畴, 具有丰富且重要的生态保护功能, 呈现出多种多样的生态服务功能价值^[12,13]。伴随着城乡地

收稿日期: 2019-02-26; 修订日期: 2019-07-29

基金项目: 国家自然科学基金项目(41871119); 美丽中国生态文明建设科技工程项目(XDA230201)

作者简介: 刘崇刚(1993-), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 研究方向为区域发展与资源环境。E-mail: cgliu@niglas.ac.cn

通讯作者: 孙伟(1980-), 男, 辽宁彰武人, 博士, 副研究员, 研究方向为区域发展与规划。

E-mail: wsun@niglas.ac.cn

域经济快速发展对生态文明诉求的提升, 这种传统经济功能以外的生态系统服务功能价值的重要性也更加凸显。

作为协调人与自然关系的重要功能区和生态涵养地, 相对城市地区而言, 乡村地区更带有“健康”“绿色”“生态”特征^[14], 拥有更广阔的绿色开敞空间, 具备重要的空气净化、气候调节、水源涵养等方面的生态服务功能, 乡村生态也是保障区域高质量可持续发展不可或缺的组成部分^[15,16]。而以往对于乡村生态服务功能的相关研究中, 研究者很少考虑到乡村实体地域范围的变化对生态服务功能造成的影响。研究多以行政区划^[17-19]或大的自然生态系统^[20-23]为研究单元分析生态服务功能演化, 从乡村或乡村实体地域范围视角对生态服务功能演化的研究不多, 而且研究多是基于行政区划的乡村, 在统一的行政区划范围内测算生态服务功能的演化。伴随城乡一体化和乡镇工业化的加快发展, 许多大都市区的城乡空间边界日渐模糊, 大都市区的城乡行政边界的划分并不能准确地反映出城乡实体地域的范围^[24]。此时若依然从行政区划的视角研究乡村地域生态服务功能变化就会缺乏科学性和时代性。因此, 本文摒弃传统的以行政区划为研究单元的模式, 在识别出不同阶段乡村实体地域范围的基础上^[25], 以南京市为例进行乡村地域生态服务功能时空演化研究, 分析南京市不同发展阶段乡村地域生态服务功能的时空演化特征。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究区概况

南京市地处中国东部, 是长三角地区的“重要门户城市”, 对周边城市经济发展有重要的辐射带动作用。辖区范围内共有 11 个区, 总面积 6597 km²。21 世纪以来, 南京市城镇化进程迅速, 2016 年末常住人口达 827 万, 乡村总人口为 199.12 万, 城市化水平上升到 82%, 年末地区生产总值超过 1 万亿元。气候类型为亚热带季风气候, 年均降水量和年均气温分别为 1200 mm 和 15.4 ℃。低山缓岗为本地区主要地貌类型。南京作为快速发展中的重要门户城市, 土地利用变化强度大, 人口密度和经济增速较快, 同时城区范围也迅速扩张。快速的城市化进程对城区周边乡村产生了很大影响, 在促进乡村经济发展的同时也会无形中影响乡村的功能性, 而乡村的各种功能对于协调城乡经济发展与生态保护至关重要, 尤其是生态服务功能。因此根据不同发展阶段乡村的实体地域范围 (图 1) 研究乡村生态服务功能, 对于保障乡村可持续发展和区域高质量发展意义重大。

1.2 数据来源

遥感数据选取南京市 1985 年、2000 年和 2016 年三期 Landsat TM 影像为遥感信息源, 空间分辨率为 30 m, 使用 3S 技术处理和分类影像。根据中国科学院土地利用覆盖一级分类体系标准, 南京市用地类型分为六类: 耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地。NDVI 数据来自中国科学院计算机网络信息中心—国际科学数据镜像网站 (<http://www.gscloud.cn>), 空间分辨率为 500 m。太阳辐射、月平均气温、月降水量数据来源于青藏高原科学数据中心提供的中国 716 个气象站太阳辐射日均值数据集。

1.3 研究方法

生态服务功能的价值代表了某个地区内不同生态系统提供的各类服务功能和自然资源的价值之和, 可为生态保护决策、生态功能区划定和生态补偿政策制定等提供依据和参考^[26,27]。Costanza^[28]率先测算了全球范围内的生态资产, 为生态服务功能价值遥感测算评估模型的建立提供了重要参考。本文参考刘家福等^[29]的研究成果, 生态服务功能价值

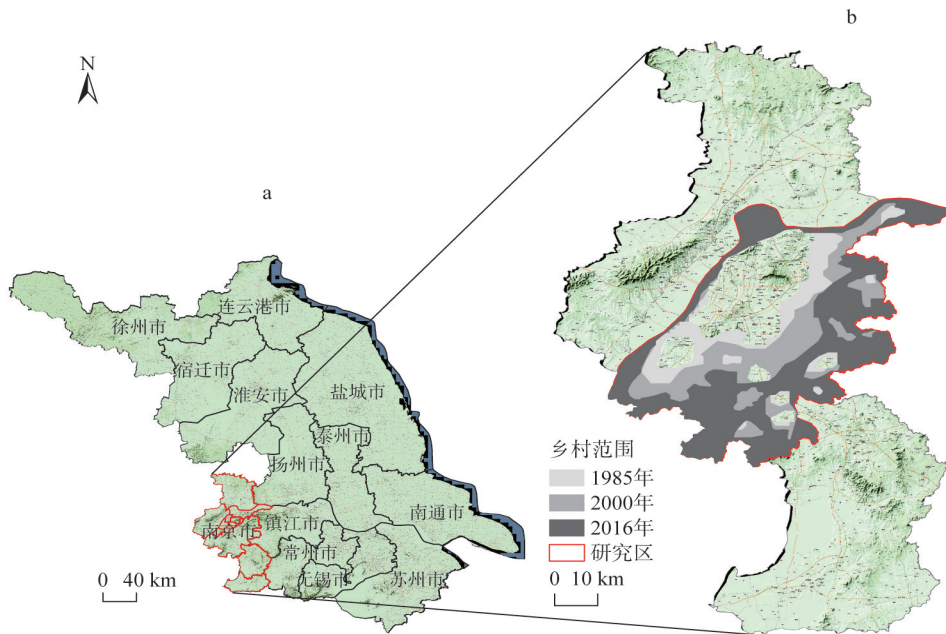


图1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

总量 V 计算公式表示为:

$$V = \sum_{n=1}^m V_n \quad (1)$$

式中: n 代表给定研究区域内的生态系统类型; V_n 代表给定研究区域中的第 n 类生态系统的生态服务功能价值 (元)。

$$V_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m R_{ij} \times V_{ci} \times S_{ij} \quad (2)$$

式中: V_{ci} 代表某个研究区域内生态系统 C 的第 i 类服务功能的单位面积价值 (元/hm²); i 代表某一研究区域内生态系统 C 的 i 型生态服务功能; j 代表某个研究区域中 V_{ci} 的斑块数 (个); S_{ij} 指不同斑块面积 (hm²); R_{ij} 指不同斑块的 V_{ci} 调整系数, 用植被覆盖度指数 f 和植被净初级生产力 NPP 表示。

$$R_{ij} = (NPP_j / NPP_{mean} + f_j / f_{mean}) / 2 \quad (3)$$

式中: NPP_{mean} 为研究区内植被净初级生产力的平均值 (g C/m²); f_{mean} 是研究区内植被覆盖的平均值 (%); NPP_j 和 f_j 为第 j 个斑块的净初级生产力 (g C/m²) 和植被覆盖度 (%). 其中 NPP 和 f_{mean} 利用朱文泉等^[30]改进的 CASA 模型计算。

各单项生态服务功能价值测算利用替代价值法、影子价格法、降水存量法等方法, 并参考于德永等^[31]、李金昌^[32]、赵同谦等^[33]和张海波^[34]的研究成果进行计算。

2 结果分析

2.1 乡村生态服务功能价值时间变化

根据研究结果, 南京乡村生态服务价值在整个研究时段内呈现减少的趋势。其中,

1985年乡村生态服务价值总量为58.71亿元,至2000年减少到35.27亿元,每年平均减少了1.56亿元,减少的价值量占1985年总价值的39.93%;2016年乡村生态服务价值总量减少到32.5亿元,每年平均减少了0.17亿元,减少的价值量占2000年总价值的7.85%。在两个研究阶段中,相比于第一阶段,第二阶段乡村生态服务功能价值的下降速率有了很大程度的减缓趋势。

对于乡村生态服务不同功能价值变化来说(图2),1985—2000年,乡村生态服务的不同功能价值均在不同程度上呈现出下降的特点。其中水源涵养价值、维持大气平衡价值、营养物质循环价值和有机质生产价值分别下降了16.3亿元、3.48亿元、2.47亿元和1.19亿元,分别占总下降价值的69.53%、14.84%、10.55%和5.08%,水源涵养价值下降量最大;2000—2016年,水源涵养功能价值有所上升,而其他功能价值仍然表现出下降的特点。其中水源涵养功能价值由2000年的13.11亿元上升到17.29亿元,上升了4.18亿元,维持大气平衡价值、营养物质循环价值和有机质生产价值分别下降了3.31亿元、2.5亿元和1.13亿元,分别占总减少价值量的47.66%、36.05%和16.3%。这一阶段乡村生态系统的维持大气平衡价值和有机质生产价值下降速率相比于上一研究阶段有了一定程度的减缓,营养物质循环价值下降速率相比于上一研究阶段有了一定程度的增加;从整个研究时段来看,水源涵养价值、维持大气平衡价值、营养物质循环价值和有机质生产价值分别下降了12.13亿元、6.79亿元、4.98亿元和2.32亿元,分别占总下降价值的46.26%、25.90%、18.98%和8.86%,水源涵养价值的变化在整个生态服务价值的下降中起主要作用。

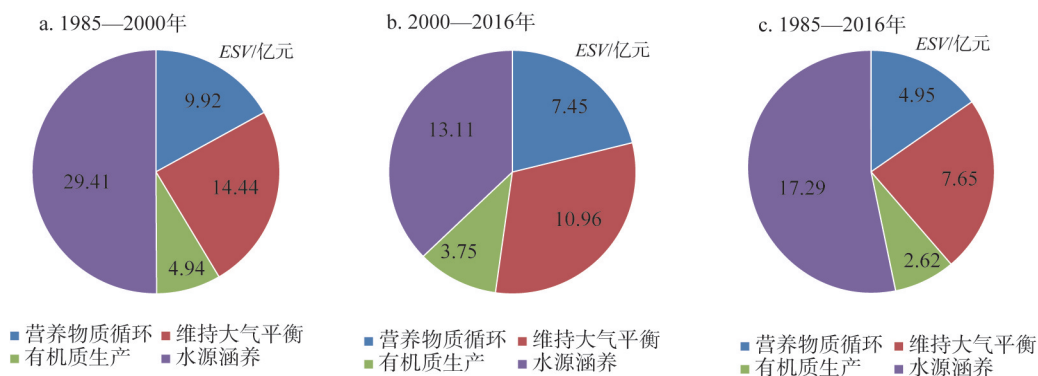


图2 1985—2016年生态系统服务的不同功能价值变化

Fig. 2 Changes in the value of different service functions of ecosystem in 1985-2016

在不同土地利用模式下,乡村各种生态服务功能价值的时间变化存在差异(图3),各种用地类型的生态服务价值都表现出了降低的特点。1985年耕地的水源涵养价值占比较大,占总价值量的48.09%。到了2000年各类价值量均有不同程度的下降,其中水源涵养功能的价值量降低最为明显,占总价值下降量的69.12%。2016年水源涵养价值有了提升,而其他功能价值仍然表现出下降趋势;1985年林地的生态服务价值中,维持大气平衡价值和水源涵养价值占有较大比例,两种类型价值量分别为4.06亿元和4.56亿元,分别占总价值量的36.81%和41.32%。到了2000年水源涵养价值下降量占有较大比例,占生态服务价值总下降价值的55.31%。2016年水源涵养功能价值有一定程度的上升,维持

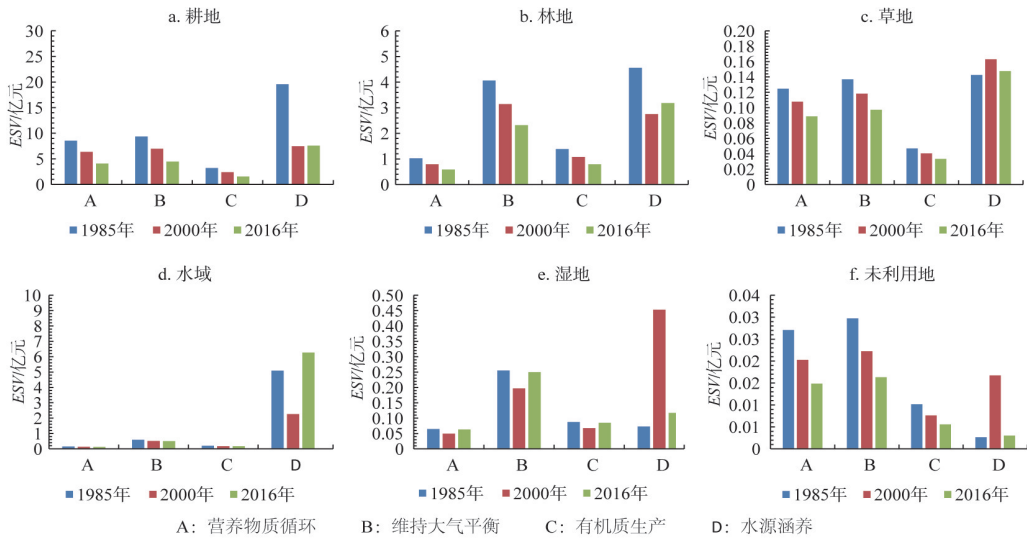


图3 不同用地类型生态系统服务功能价值变化

Fig. 3 Change of ecosystem service value in different land use types

大气平衡价值下降量最大, 占全年价值下降量的93.74%, 占第二阶段下降量的主要部分; 1985—2016年, 草地的水源涵养价值波动回升, 其他各类价值不断下降; 水域的生态服务价值以水源涵养价值为主, 且呈现出先减后升的特点, 1985年、2000年和2016年水域的水源涵养价值分别占总价值的84.41%、73.67%和88.67%; 1985年湿地的生态服务价值以维持大气平衡价值为主, 到2000年维持大气平衡价值有所下降, 水源涵养价值有了较大幅度的提升, 2016年水源涵养价值一定程度下降, 其他类型功能价值有所上升, 湿地的生态服务功能价值总体呈现波动上升; 未利用地的生态服务价值以营养物质循环和维持大气平衡价值为主, 并且总体呈现下降趋势。总的来看, 1985—2016年除水域和湿地之外, 耕地、林地、草地、未利用地的生态服务价值总量呈现逐阶段下降的趋势, 水域的生态服务价值呈现先下降后上升的特征, 湿地的生态服务价值呈现先上升后下降的特征。工业化和城市化的发展对乡村各类土地类型生态服务功能价值影响不同, 其中耕地和林地的生态服务功能价值受影响最大, 分别下降了23.01亿元和4.16亿元。

2.2 乡村生态服务功能价值空间变化

关于不同地区生态服务功能价值的变化(图4、图5), 1985—2016年间生态服务功能价值的高值区主要集中在横溪、江宁、禄口、汤山、湖熟和淳化街道等。从不同街道生态服务功能价值的变化率来看, 第一阶段各街道的生态服务价值总量整体表现为降低, 其中湖熟、江宁、横溪、汤山、淳化、栖霞和靖安街道的生态服务价值变动较大, 分别下降了3.5亿元、2.6亿元、2.38亿元、1.97亿元、1.58亿元、1.55亿元和1.52亿元。在第二阶段, 除了江心洲、八卦洲、横溪、江宁、西善桥和燕子矶街道有较大程度的上升外, 其他街道的生态服务价值基本处于稳定或下降的趋势, 其中秣陵、谷里、汤山和栖霞街道的生态服务价值变化率相对较高, 分别下降了2.13亿元、1.73亿元、1.24亿元和0.75亿元。在这两个阶段的变化速率中, 秣陵和谷里街道的生态服务价值下降速率增加较快, 湖熟、江宁、横溪、淳化和江心洲街道的下降速率已大幅放缓。总的来看, 1985—2016年间, 生态服务价值总量下降较大的区域主要集中在湖熟、汤山、秣陵、栖霞

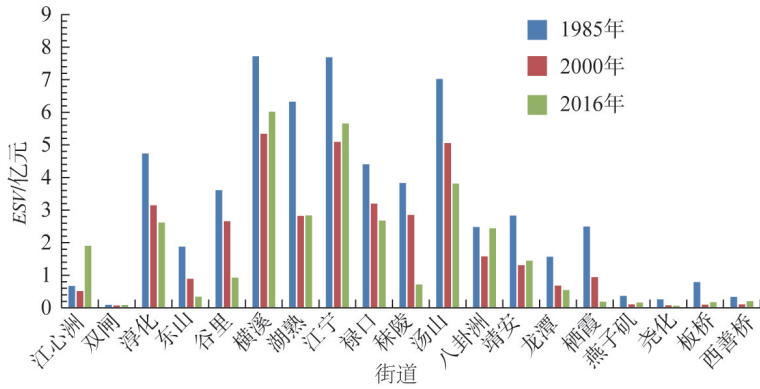


图4 1985—2016年乡村主要街道生态服务价值变化

Fig. 4 Change of ecosystem service value of main rural streets in 1985-2016

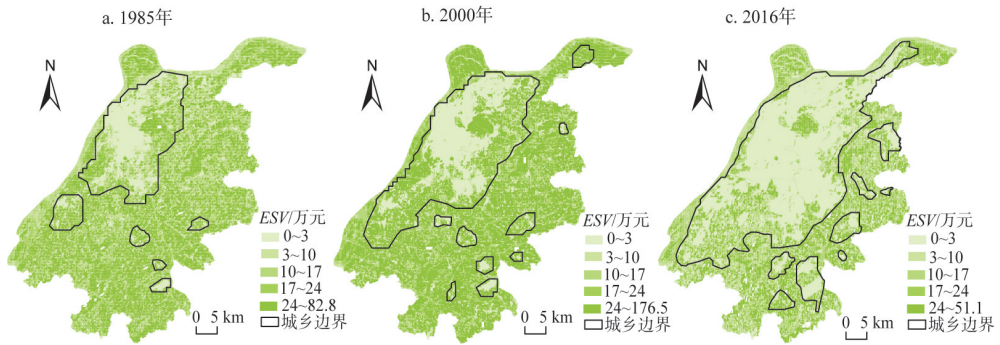


图5 1985—2016年乡村生态服务功能价值变化

Fig. 5 Changes of rural ecosystem services value in 1985-2016

霞、淳化和江宁街道。

从生态服务功能价值不同方向的损失来看(图6),以新街口为中心,将南京各时段乡村地域范围分别等角45°划分为8个区域,分别与各个时段乡村生态服务功能价值进行叠加分析,得到各个方向乡村生态服务功能价值。第一阶段乡村生态服务价值下降较大的地区主要集中在南部、南偏西和南偏东方向,在这些方向上下降的服务功能价值占整个地区下降值的71.67%。在第二阶段,除了北部和北偏西方向的生态服务价值增加外,

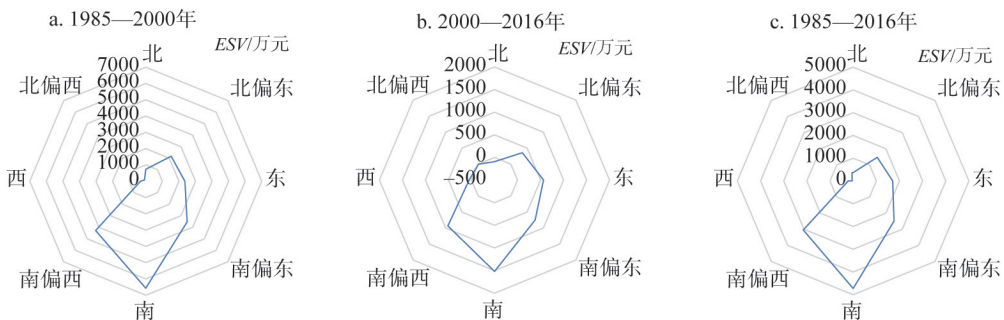


图6 不同方向乡村生态服务价值损失

Fig. 6 Losses of rural ecosystem service value in different directions

其他所有方向生态服务价值都有不同程度的减少,其中仍以南部、南偏西和南偏东方向生态服务价值下降量最大,占整个区域下降价值的76.73%。从整个研究时段来看,在偏南和偏东方向下降率较大,其中偏南方向的变化率更大。

2.3 乡村生态服务功能价值演化的驱动因素

对于乡村生态系统来说,土地利用作为变化较大的因素,是乡村生态服务功能价值变化的重要驱动因素之一。众多学者关于生态服务功能影响因素的研究中得出的一个较为统一的结论是:在驱动生态服务价值变化的众多因子中,土地利用变化的作用不可忽视。其中湿地、林地、水域的单位面积生态服务功能价值很高,当它变为其他用地类型时,必然会导致生态系统服务价值的降低,相反会使服务价值提升^[35,36]。

第一阶段,乡村生态服务价值损失与乡村土地利用结构变化密切相关,这一阶段除湿地外,乡村其他土地类型的生态服务价值均呈现出不同程度的减少趋势,其中耕地、林地和水域面积的变化对乡村生态服务价值的下降影响最大,这一阶段耕地、林地和水域的生态服务价值分别减少了17.48亿元、3.28亿元和2.95亿元,单位面积生态服务价值减少量分别为774.11万元/km²、761.39万元/km²和3581.34万元/km²。由此可以看出,耕地面积的减少对耕地生态服务价值的下降影响较大,水域的生态服务价值下降量大与水域的单位面积生态服务价值较大密切相关。这与当时以乡镇经济为主体的苏南模式形成的乡镇工业化热潮有很大关系,工厂分散布局占用了大量耕地,土地利用结构变化迅速,这一时期乡村生态服务价值的损失在空间上呈现点状变化的特点。

第二阶段,城镇化进程的快速推动,使得城市建成区范围也呈现迅速扩张的趋势,建设用地迅速扩张,占用了大量的农业用地,这一阶段除水域外,其他用地类型生态服务价值仍然表现出不同程度的下降特点。其中水域的生态服务价值增加了3.99亿元,水域生态服务价值的增加对于减缓现阶段生态服务价值下降速率起着重要作用。这一阶段乡村生态服务价值下降的主导因素仍然是耕地面积的缩减,并且影响程度呈现加深的趋势;耕地的生态服务价值减少了5.54亿元,占总减少量的85.09%,乡村生态服务价值的损失在空间上呈现面状变化的特点。总的来看,耕地面积损失的主要影响因素是硬质化地面的增加,因此建设用地面积的迅速增加对乡村生态服务价值损失有重要影响。

不同景观类型的单位面积生态服务功能价值不同,当一种景观类型转变为其他景观类型时必然会对生态系统的生态服务功能产生强烈影响,导致生态系统的组分、结构与生态过程及生物多样性等发生剧烈变化^[37]。另外,生态服务功能与景观分离度、斑块密度和用地破碎度等密切关系,用地破碎化使斑块内物种减少,生物多样性减少,生物生境和资源随之受到影响。1985—2016年乡村景观类型中最大斑块所占景观面积比例呈现不断下降的趋势,香浓多样性和香浓均匀度呈现不断上升的趋势(表1),说明了研究区的景观分离度逐渐增加,加剧了用地破碎化的趋势。在研究期间,一方面湿地、水域、林地等单位面积生态服务功能价值高的斑块类型被其他斑块所代替时,导致了生态服务

表1 1985—2016年乡村景观格局变化

Table 1 Change of rural landscape patterns from 1985 to 2016

年份	最大斑块所占景观面积比例 <i>LPI</i> /%	斑块多度 <i>PR</i>	香浓多样性 <i>SHDI</i>	香浓均匀度 <i>SHEI</i>
1985	30.12	7	1.11	0.57
2000	26.94	7	1.15	0.59
2016	20.25	7	1.27	0.65

功能价值总量的下降，尤其是建设用地斑块的加速扩张和集中连片加剧了这种下降趋势；另一方面除建设用地外，研究区其他类型景观的分离度和斑块密度不断上升，用地的破碎化程度不断加剧，用地破碎程度的增加降低了景观类型的连通度和生物多样性，加剧了乡村生态服务功能价值的下降。

3 结论与讨论

本文在识别出的乡村实体地域范围基础上，利用生态资产遥感评估方法和CASA模型，对南京市不同阶段的乡村生态服务功能价值的时空变化进行测算和分析，摆脱了传统的以行政区划为研究单元的模式，具有一定的借鉴意义。研究表明：

(1) 1985—2016年间，南京乡村生态服务价值总量呈现降低的特点。在两个研究阶段中，相比于第一阶段，第二阶段乡村生态服务功能价值的下降速率有了一定程度的减缓趋势。对于生态服务的各种功能价值变化来说，1985—2000年乡村生态服务的不同功能价值均有不同程度的下降；2000—2016年，水源涵养功能价值呈现上升，其他类型功能价值仍然呈现下降的趋势。这一阶段乡村生态系统的维持大气平衡价值和有机质生产价值下降速率相比于上一研究阶段有了一定程度的减缓，营养物质循环价值下降速率相比于上一研究阶段有了一定程度的增加。第二阶段生态服务功能价值总体下降趋势的减缓与区域发展政策、用地效率和环保意识提升等因素密切相关。

(2) 从变化方向的角度来说，生态服务功能价值下降较大的地区主要集中在偏东和偏南方向，这与城区扩张的方向相吻合，说明了城市扩张的方向和土地利用特点影响生态服务功能变化的方向性和程度。乡村生态服务功能的下降除城区范围扩张导致乡村实体地域范围缩减的原因之外，还有乡村自身工业化和土地利用变化的影响，并且在不同的研究阶段二者的影响力也有差异。总体来看，城区扩张对乡村生态服务功能的影响程度更深。

(3) 不同研究阶段乡村生态服务功能价值的变化在空间上呈现出不同的特点，与各个时期城乡经济发展模式关系密切。对于发展迅速的苏南地区来说，在乡镇经济为主体的“苏南模式”发展阶段，乡村快速的工业化和城镇化形成了“遍地开花”的发展特点，乡村内部土地利用结构混乱，乡村生态服务功能价值的损失在空间上呈现点状变化的特点。这一阶段乡村内部建设用地扩张、用地结构破碎化、环境变化等原因造成的生态服务功能损失占较大比例；到了城乡一体化和“新苏南模式”发展阶段，大批的开发区建设使乡村逐渐消亡，城乡快速的经济加速了建设用地增加，城区的迅速扩张对乡村生态服务功能的影响逐渐占据主导地位，这一时期乡村生态服务功能价值的损失呈现面状变化的特点。因此，对于大都市区及其周边的乡村地域来说，乡村生态系统的治理和优化不仅要加强乡村土地利用结构的优化和环境的整治，更要限制城区范围的过度扩张对乡村地域范围的占用。在当前的经济发展模式下，经济发展的同时要兼顾生态系统的健康，运用系统思维，在促进城乡经济发展、生活服务等一体化的同时，也要加强城乡生态系统维护和治理的一体化。促进生态环境保护从单一资源环境要素管理向注重生态系统整体性、原真性等综合管理过渡。

本文创新点在于：在研究方法方面，为突出不同研究阶段的生态环境质量时空差异，利用朱文泉等^[30]改进的CASA模型测算不同时期的植被净初级生产力和植被覆盖度

作为纠正系数,并结合生态资产遥感评估方法、市场价值法和替代价值法等对乡村生态服务价值进行了测算和分析;在研究范围方面,为体现乡村实体地域范围变化对乡村生态服务功能造成的影响,在识别出不同研究阶段城乡空间边界的基础上进行乡村生态服务功能价值演化评价,摆脱了以大的流域范围或行政区划为研究边界的研究传统,具有一定的创新性和可借鉴性。

随着自然资源的生态服务功能重视性越来越高,研究成果也越来越丰富。区域生态服务功能变化是多种因素共同作用的结果,在全球、区域和地方等不同尺度,自然、经济和社会发展等不同方面受不同驱动因素的影响,在城乡发展的不同阶段影响程度也有较大差异。由于生态系统结构的复杂性以及目前认知的有限性,如何更加精确地测算和分析区域生态服务功能价值及其变化、识别生态服务功能变化的驱动因素,进而进行区域生态服务功能优化策略制定,还需进一步深入研究探讨。

参考文献(References):

- [1] HOLDREN J P, EHRLICH P R. Human population and the global environment. *American Scientist*, 1974, 62(3): 282-292.
- [2] DAILY G C. Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems. *Corporate Environmental Strategy*, 1997, 6(2): 220-221.
- [3] COSTANZA R, D'ARGE R, GROOT R D, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(1): 3-15.
- [4] 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. *自然资源学报*, 2009, 24(1): 1-10. [LI W H, ZHANG B, XIE G D. Research on ecosystem services in China: Progress and perspectives. *Journal of Natural Resources*, 2009, 24(1): 1-10.]
- [5] LATERRA P, ORUE M E, BOOMAN G C. Spatial complexity and ecosystem services in rural landscapes. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2012, 154(3): 56-67.
- [6] 乔杰, 洪亮平, 王莹. 生态与人本语境下乡村规划的层次及逻辑: 基于鄂西山区的调查与实践. *城市发展研究*, 2016, 23(6): 88-97. [QIAO J, HONG L P, WANG Y. The hierarchy and logic of the rural planning ecology concept and humanistic thoughts: Based on the investigation and practice in Western Hubei mountainous area. *Urban Development Studies*, 2016, 23(6): 88-97.]
- [7] 原野, 赵中秋, 师学义, 等. 基于乡镇地域主导功能定位的农村居民点整理策略研究. *自然资源学报*, 2017, 32(12): 93-103. [YUAN Y, ZHAO Z Q, SHI X Y, et al. Strategy of rural residential land consolidation based on the dominate function of township. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(12): 93-103.]
- [8] 席建超, 王首琨, 张瑞英. 旅游乡村聚落“生产—生活—生态”空间重构与优化: 河北野三坡旅游区苟各庄村的案例实证. *自然资源学报*, 2016, 31(3): 425-435. [XI J C, WANG S K, ZHANG R Y. Restructuring and optimizing production-living-ecology space in rural settlements: A case study of Gougezhuang village at Yesanpo Tourism Attraction in Hebei province. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 425-435.]
- [9] 申明锐, 张京祥. 新型城镇化背景下的中国乡村转型与复兴. *城市规划*, 2015, 39(1): 30-34. [SHEN M R, ZHANG J X. China's rural transformation and revival in the contest of new urbanization. *City Planning Review*, 2015, 39(1): 30-34.]
- [10] 王晓君, 吴敬学, 蒋和平. 中国农村生态环境质量动态评价及未来发展趋势预测. *自然资源学报*, 2017, 32(5): 864-876. [WANG X J, WU J X, JIANG H P. Dynamic assessment and trend prediction of rural eco-environmental quality in China. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(5): 864-876.]
- [11] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4): 441-446. [FU B J, ZHANG L W. Land-use change and ecosystem services: Concepts, methods and progress. *Progress in Geography*, 2014, 33(4): 441-446.]
- [12] 李平星, 陈诚, 陈江龙. 乡村地域多功能时空格局演变及影响因素研究: 以江苏省为例. *地理科学*, 2015, 35(7): 845-851. [LI P X, CHEN C, CHEN J L. Temporal evolution and spatial differentiation of rural territorial multifunctions and the influencing factors: The case of Jiangsu province. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(7): 845-851.]
- [13] FU C. The evaluation of rural territorial functions: A case study of Henan, China. *Journal of Resources and Ecology*,

- 2017, 8(3): 242-250.
- [14] 汤爽爽, 冯建喜. 法国快速城市化时期的乡村政策演变与乡村功能拓展. 国际城市规划, 2017, 32(4): 104-110. [TANG S S, FENG J X. Function expansion and policy evolution of rural area in France during the rapid urbanization period. *Urban Planning International*, 2017, 32(4): 104-110.]
- [15] BARÓ F, GÓMEZ-BAGGETHUN E, HAASE D. Ecosystem service bundles along the urban-rural gradient: Insights for landscape planning and management. *Ecosystem Services*, 2017, 24: 147-159.
- [16] GUTMAN P. Ecosystem services: Foundations for a new rural-urban compact. *Ecological Economics*, 2007, 62(3-4): 383-387.
- [17] 朱晓磊, 张建军, 程明芳, 等. 基于 Meta 分析的矿业城市生态服务价值转移研究. 自然资源学报, 2017, 32(3): 434-448. [ZHU X L, ZHANG J J, CHENG M F, et al. A study on transfer of ecosystem service values in mining cities by Meta-analysis. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(3): 434-448.]
- [18] 白杨, 李晖, 王晓媛, 等. 云南省生态资产与生态系统生产总值核算体系研究. 自然资源学报, 2017, 32(7): 1100-1112. [BAI Y, LI H, WANG X Y, et al. Evaluating natural resource assets and gross ecosystem products using ecological accounting system: A case study in Yunnan province. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(7): 1100-1112.]
- [19] PENG J, LIU Y, LI T, et al. Regional ecosystem health response to rural land use change: A case study in Lijiang city, China. *Ecological Indicators*, 2017, 72: 399-410.
- [20] 梁鸿, 潘晓峰, 余欣繁, 等. 深圳市水生态系统服务功能价值评估. 自然资源学报, 2016, 31(9): 1474-1487. [LIANG H, PAN X F, YU X F, et al. Valuation of water ecosystem services in Shenzhen city. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(9): 1474-1487.]
- [21] 黄麟, 曹巍, 吴丹, 等. 西藏高原生态系统服务时空格局及其变化特征. 自然资源学报, 2016, 31(4): 543-555. [HUANG L, CAO W, WU D, et al. The temporal and spatial variations of ecological services in the Tibet Plateau. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(4): 543-555.]
- [22] 张彪, 史芸婷, 李庆旭, 等. 北京湿地生态系统重要服务功能及其价值评估. 自然资源学报, 2017, 32(8): 1311-1324. [ZHANG B, SHI Y T, LI Q X, et al. The key ecological services and their values of wetland ecosystems in Beijing. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(8): 1311-1324.]
- [23] 岳东霞, 杜军, 巩杰, 等. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析. 生态学报, 2011, 31(9): 2567-2575. [YUE D X, DU J, GONG J, et al. Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(9): 2567-2575.]
- [24] 朱晓华. 一部反映中国城乡划分最新技术的力作: 评《城乡划分与监测》. 地理研究, 2013, 32(2): 2176. [ZHU X H. A masterpiece reflecting the latest technology of urban-rural division in China: A review of Urban-rural Division and Monitoring. *Geographical Research*, 2013, 32(2): 2176.]
- [25] 刘崇刚, 孙伟, 曹玉红, 等. 大都市区城乡空间边界演化识别方法研究: 以南京市为例. 长江流域资源与环境, 2018, 27(10): 2214-2221. [LIU C G, SUN W, CAO Y H, et al. Identification method of urban-rural space boundary expansion in the metropolitan area: A case study of Nanjing. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2018, 27(10): 2214-2221.]
- [26] 潘耀忠, 史培军, 朱文泉, 等. 中国陆地生态系统生态资产遥感定量测量. 中国科学: 地球科学, 2004, 34(4): 375-384. [PAN Y Z, SHI P J, ZHU W Q, et al. Quantitative measurement of ecological assets of terrestrial ecosystem in China by remote sensing. *Science in China Series D*, 2004, 34(4): 375-384.]
- [27] 谢高地, 张彩霞, 张雷明, 等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进. 自然资源学报, 2015, 30(8): 1243-1254. [XIE G D, ZHANG C X, ZHANG L M, et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area. *Journal of Natural Resources*, 2015, 30(8): 1243-1254.]
- [28] COSTANZA R. Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 4-10.
- [29] 刘家福, 孙洪泉, 占文凤. 长江三角洲地区生态资产变化驱动力分析. 水土保持研究, 2013, 20(1): 182-185. [LIU J F, SUN H Q, ZHAN W F. Analysis on driving forces of ecological capital in the Yangtze River Delta region. *Research of Soil and Water Conservation*, 2013, 20(1): 182-185.]
- [30] 朱文泉, 潘耀忠, 张锦水. 中国陆地植被净初级生产力遥感估算. 植物生态学报, 2007, 31(3): 413-424. [ZHU W Q, PAN Y Z, ZHANG J S. Estimation of net primary productivity of Chinese terrestrial vegetation based on remote sensing. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(3): 413-424.]
- [31] 于德永, 潘耀忠, 刘鑫, 等. 湖州市生态资产遥感测量及其在社会经济中的应用. 植物生态学报, 2006, 30(3): 404-413. [YU D Y, PAN Y Z, LIU X, et al. Ecological capital measurement by remotely sensed data for Hangzhou and its socio-economic application. *Journal of Plant Ecology*, 2006, 30(3): 404-413.]
- [32] 李金昌. 生态价值论. 重庆: 重庆大学出版社, 1999. [LI J C. *Ecological Value Theory*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.]

- sity Press, 1999.]
- [33] 赵同谦, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国森林生态系统服务功能及其价值评价. 自然资源学报, 2004, 19(4): 480-491. [ZHAO T Q, OUYANG Z Y, ZHENG H, et al. Forest ecosystem services and their valuation in China. Journal of Natural Resources, 2004, 19(4): 480-491.]
- [34] 张海波. 南方丘陵山地带水源涵养与土壤保持功能变化及其区域生态环境响应. 长沙: 湖南师范大学, 2014. [ZHANG H B. The function of water and soil conservation and its ecological environment responses in hilly and mountainous regions of South China. Changsha: Hunan Normal University, 2014.]
- [35] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响: 以密云水库流域为例. 生态学报, 2003, 33(3): 726-736. [LI Y F, LUO Y C, LIU G, et al. Effects of land use change on ecosystem services: A case study in Miyun Reservoir Watershed. Acta Ecologica Sinica, 2003, 33(3): 726-736.]
- [36] 赵阳, 张艺, 涂志华, 等. 基于生态服务价值的多目标水源地土地利用结构优化. 中国环境科学, 2014, 34(1): 232-238. [ZHAO Y, ZHANG Y, TU Z H, et al. Multi-objective optimization of land use structures for water resources area based on eco-service value. China Environmental Science, 2014, 34(1): 232-238.]
- [37] SU S L, XIAO R, JIANG Z L, et al. Characterizing landscape pattern and ecosystem service value changes for urbanization impacts at an eco-regional scale. Applied Geography, 2012, 34: 295-305.

The evolution measurement of ecological service function in rural areas: A case study of Nanjing

LIU Chong-gang^{1,2}, SUN Wei¹, CAO Yu-hong², CHEN Chen²

(1. Key Laboratory of Watershed Geography Science, Nanjing Institute of Geography Limnology, CAS, Nanjing 210008, China; 2. College of Environmental Science and Engineering, Anhui Normal University, Wuhu 241000, Anhui, China)

Abstract: Rural areas play an important hinterland role in social development, and the evolution of rural spatial structure has an important impact on the function of rural ecological services. Taking Nanjing as an example, this paper conducts the research on the evolution of rural regional ecological service functions based on the scope of physical rural areas. The remote sensing quantitative measurement and CASA model are used to calculate and analyze the evolution of rural regional ecological service functions in Nanjing from 1985 to 2016. The results show that: (1) From 1985 to 2000, the value of various functions of rural ecosystem services declined in varying degrees; from 2000 to 2016, the values of all kinds of functions, except that of water conservation function, still showed a downward trend. (2) In the first stage, the decline of rural ecological service function was mainly found in the south, west to south and east to south. In the second stage, except for the increase of ecosystem services in the north and northwest directions, the decline of ecosystem services in all directions decreased in varying degrees. (3) In the stage of industrialization of villages and towns, the change of land use structure within villages had a major impact on the ecological service function. In the stage of urbanization, the impact of urban expansion on rural ecological service function was the main aspect.

Keywords: physical rural area; ecological service function; CASA model; Nanjing